УДК 552.16:552.431

DOI: 10.19110/2221-1381-2015-10-38-44

РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ СЛАНЦАХ ПУЙВИНСКОЙ СВИТЫ (RF₂), ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

Н. С. КовальчукИнститут геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
kovalchuk@geo.komisc.ru

Приводятся результаты исследований редкоземельной минерализации в кристаллических сланцах пуйвинской свиты (Приполярный Урал). Впервые установлена ассоциация REE-минералов: монацит, бастнезит, алланит и торит. Анализ данной минерализации позволяет получить более детальную информацию о стадийности и условиях метаморфических преобразований пород района.

Ключевые слова: Приполярный Урал, пуйвинская свита, кристаллические сланцы, редкоземельная минерализация.

RARE EARTH MINERALIZATION IN METAMORPHIC SCHISTS OF PUIVIN SUITE (RF₂), SUBPOLAR URALS

N. S. Kovalchuk

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktvykar

The results of rare earth mineralization features in crystalline schists of the puivin suite (Subpolar Urals) are presented. The association of REE-minerals monazite, bastnaesite, allanite and thorite are established. The date allow to get more detail information about the stages and conditions of metamorphic transformations of the suite.

Keywords: Subpolar Urals, puivin suite, crystalline schists, REE mineralization.

Введение

Метаморфические комплексы Урала характеризуются сложными многостадийными процессами преобразований минералов и пород субстрата в целом, что часто затрудняет расшифровку истории геологического развития территории. Геохимия и минералогия редкоземельных элементов метаморфических комплексов является полезным инструментом в решении данной проблемы. Однако для метаморфических комплексов Приполярного Урала вопросы редкоземельной минерализации, как возможного полезного компонента, так и индикатора геодинамических преобразований, остаются открытыми. Одним из перспективных объектов на наличие благородно-редкометалльного оруденения могут быть породы черносланцевого типа. Ранее производственными работами (1986—1990 гг.) Воркутинской ГРЭ (Вознесенский, Пыстин, 1991 г.) установлены признаки полиметаллического оруденения на значительных площадях распространения отложений пуйвинской сви-

ты, в которых описывалось присутствие графита. В связи с этим выявление новых рудоносных объектов в углеродистых породах с практически значимой металлоносностью вызывает большой интерес.

С целью выявления горизонтов с возможным повышенным содержанием углерода и анализа металлоносности в 2014 г. нами проведены геологические наблюдения и опробование отложений пуйвинской свиты. Изучены разрезы в верхнем течении р. Кожым и в ее притоках — руч. Хасаварка и р. Осей (рис. 1). Кроме того, проведено изучение россыпной минерализации из аллювия с целью выявления полезных компонентов. В шлихах обнаружены частицы золота размером до 0.25 мм, морфология поверхности которых, а также отсутствие следов переноса указывают на ближний источник сноса [1]. В результате исследований в кристаллических сланцах пуйвинской свиты и аллювии на близкорасположенных участках установлена идентичная акцессорная минерализация, позволяющая пред-

положить, что источником золота на данной территории являются отложения пуйвинской свиты. Золото в коренном залегании в данном районе пока не обнаружено.

При изучении углеродного вещества и, возможно, связанной с ним металлоносности в пуйвинских сланцах впервые установлена ассоциация REE-минералов — монацит, бастнезит, алланит и торит.

В данной работе рассматриваются особенности фазового состава и взаимоотношения редкоземельных минералов в кристаллических сланцах пуйвинской свиты. Анализ данной минерализации позволяет получить более детальную информацию о стадийности и условиях метаморфических преобразований пород.

Исследования проводились в полированных шлифах в ИГ Коми НЦ УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Oxford Instruments X-Max (аналитик С. С. Шевчук). В связи с использованной модификацией оборудования при

определении минералов содержания CO_2 , F, H_2O были основаны на расчетных данных.

Минералого-петрографическая характеристика пород пуйвинской свиты

Пуйвинская свита входит в состав докембрийского разреза северной части Ляпинского антиклинория (Приполярный Урал), в котором выделяются следующие стратиграфические подразделения (снизу вверх): няртинский метаморфический (гнейсо-мigmatито-

вый) комплекс (PR_1), маньхобейнская и шокуринская свиты (RF_1), пуйвинская свита (RF_2), хобейнская, санаизская и саблегорская свиты (RF_3), лаптоайская свита (V) [4].

Пуйвинская свита (RF_2) залегает с размывом на отложениях шокуринской свиты и породах няртинского комплекса [4]. Свита сложена темно-серыми, серыми и зеленовато-серыми хлорит-мусковит-альбит-кварцевыми сланцами с прослоями амфиболитов и кварцитов. В подчиненном количестве встречаются риолитовые и даци-

товые метапорфиры и их туфы. В основании пуйвинской свиты выделяется ошизская толща слюисто-полевошпатных кварцитов с линзами конгломератов. Общая мощность свиты 1400–1600 м.

Свита подразделяется на три толщи. Нижняя и верхняя толщи близки по литологическому составу и характеризуются преимущественным распространением темно-серых и серых слюдяно-альбит-кварцевых сланцев. В разрезе средней толщи резко возрастает роль аповулканогенных зеленых ортосланцев. К интрузивным образованиям пуйвинского возрастного уровня относят Кожимский гранитный массив, представляющий собой межпластовую залежь среди отложений описываемой свиты [3].

Породы пуйвинской свиты претерпели в докембрии как минимум два этапа метаморфизма. Ранний этап достигал высоких ступеней зеленосланцевой фации, поздний связан с низкотемпературными процессами диафтореза, интенсивно проявившегося в зонах вторичного рассланцевания, связанных с тектоническими нарушениями [2]. Низкотемпературный диафторез привел к частичной или полной низкотемпературной перекристаллизации минерального вещества.

Слюдисто-кварцевые сланцы составляют значительную часть разреза в пуйвинской свите. Они имеют серую, зеленовато-серую и темно-серую окраску, в обнажении породы смяты в складки с крутым падением слоев большой мощности. В приконтактовых зонах с гранитами Кожимского массива сланцы приобретают почти черную окраску, интенсивно рассланцованы и смяты в мелкие складки. Пуйвинские сланцы отобраны из разрезов в приконтактовых зонах с интрузивными породами в верхнем течении р. Кожым (в левом борту, в 1.5 км ниже устья руч. Хасаварка) и в ее притоках: руч. Хасаварка (второй правый приток) и р. Осею (второй левый приток) (рис. 1).

По размеру зерен и соотношению главных породообразующих минералов — кварца, альбита, мусковита и хлорита — сланцы пуйвинской свиты имеют лепидогранобластовую структуру и сланцеватую текстуру. В небольших количествах присутствуют эпидот и биотит. В пуйвинских сланцах постоянно отмечается гранат, размер его зерен варьирует от 0.5–5 мм до 2 см. Среди аксессуарных минералов обычны циркон, сфен, апатит,

Рис. 1. Схема геологического строения северной части Приполярного Урала [4] с дополнениями:

1 — няртинский метаморфический комплекс (PR_1): гранатсодержащие слюистые гнейсы и кристаллические сланцы, прослои амфиболитов, кварцитов и мраморов; 2 — маньхобейнская свита (RF_1): слюисто-кварцевые кристаллические сланцы с прослоями кварцитов; 3 — шокуринская свита (RF_1): известковистые сланцы, мраморы, кварциты; 4 — пуйвинская свита (RF_2): слюдяно-кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, прослои метаморфитов и кварцитов; 5 — верхнерифейские отложения (RF_3) нерасчлененные; 6 — палеозойские отложения (E_3O) нерасчлененные; 7 — граниты (γPR_1); 8 — разломы; 9 — границы стратиграфических и интрузивных подразделений; 10 — границы стратиграфических несогласий; выделенная область район работ

Fig. 1. Geological structural map of the Northern Subpolar Urals [3] with annex.

1 — nyartinsky metamorphic complex (PR_1): garnet micaceous gneisses and crystalline shales, interbedding of amphibolite, quartzites and marbles; 2 — manhobeinskaya suite (RF_1): micaceous-quartz crystalline shales interbedded with quartzites; 3 — schokurinskaya suite (RF_1): calcareous shales, marbles, quartzites; 4 — puyvinskaya suite (RF_2): mica-quartz shales, green orthoschales, interbedding of metamorphic rocks and quartzites; 5 — Upper Riphean rocks (RF_3), undifferentiated; 6 — Paleozoic rocks (E_3O), undifferentiated; 7 — granites (γPR_1); 8 — faults; 9 — boundaries of stratigraphic and intrusive units; 10 — boundaries of unconformities; selected area — area of work.

ильменит, пирит, халькопирит, рутил, титанит. Кроме того, при помощи метода рамановской спектроскопии нами установлена углеродная минерализация, представленная тонкодисперсными аморфными агрегатами и тонкими чешуйками графита.

Редкоземельная минерализация

В ходе детального изучения акцессорных минералов в пуйвинских сланцах хлорит-мусковит-кварцевой состава в приконтактной зоне с гранитным массивом нами впервые установлена ассоциация REE-минералов — монацит, бастнезит, алланит и торит, предположительно имеющая гидротермальный и переотложенный генезис.

Монацит $[(\text{LREE})\text{PO}_4]$ в пуйвинских сланцах представлен мелкими изометричными зёрнами (до 5 мкм) в породообразующих слюдах, нередко образует тесные сростания с алланитом (рис. 2, а, б), а также встречается в виде включений в ильмените (рис. 2, в). Монацит ассоциирует с мусковитом, биотитом, алланитом, бастнезитом, рутилом и ильменитом. Редко наблюдается замещение зерен биотита монацитом и рутилом, при этом монацит имеет розетковидные выделения (рис. 2, г).

По химическому составу пуйвинские монациты являются существенно цериевыми, содержат небольшое количество кальция (табл. 1). Наиболее высокие концентрации LREE, кроме Ce_2O_3 (19.23—35.36 мас. %), установлены для Nd_2O_3 (10.87—29.26 мас. %), La_2O_3 (2.87—15.29 мас. %), Sm_2O_3 (0.85—7.32 мас. %), Pr_2O_3 (2.37—4.61 мас. %). Обычно отмечается небольшое количество SO_3 , замещающее часть фосфора. В целом для данных монацитов характерно высокое содержание LREE. В составе минерала постоянно присутствует примесь Y_2O_3 (0.68—1.46 мас. %) и ThO_2 (до 3.14 мас. %).

Бастнезит — фторкарбонат редких земель группы паразита с эмпирической формулой $[(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}]$, заполняет полости и трещины в породообразующих минералах, размер его выделений достигает 150 мкм (рис. 3, а, б). Бастнезит постоянно встречается в виде включений в алланите, замещает его и составляет с ним сростки (рис. 3, в, г). Бастнезит находится в тесной ассоциации с алланитом, кварцем, альбитом, и мусковитом.

Химический состав бастнезита отличается резким преобладанием

Рис. 2. Взаимоотношения монацита (*Mnz*) с породообразующими и REE-минералами: а, б — тесные сростания зерен монацита с алланитом (*Aln*) в породообразующем мусковите (*Ms*); в — включения монацита и рутила (*Rt*) в ильмените (*Ilm*); г — розетковидные выделения монацита и рутила в биотите (*Bt*). Режим упругоотраженных электронов (УОЭ)

Fig. 2. Relations of monazite (*Mnz*) with rock-forming and REE-minerals; а, б — close fusion of monazite grains with allanite (*Aln*) in rock-forming muscovite (*Ms*); в — inclusions of monazite and rutile (*Rt*) in ilmenite (*Ilm*); г — rosette-like monazite and rutile in biotite (*Bt*). In the mode of elastically scattered electrons (ESE)

Таблица 1

Химический состав монацита по данным микрозондового анализа, мас. %

Chemical composition of monazite according to microprobe analysis, % wt

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
P_2O_5	31.80	29.64	29.90	29.20	28.28	28.89	30.56
SO_3	1.11	0.87	1.68	0.00	0.08	0.13	0.00
CaO	1.67	2.38	3.41	0.34	0.87	0.55	0.22
SrO	0.46	0.69	0.71	0.53	1.40	0.29	0.26
Y_2O_3	1.19	1.08	0.97	1.46	0.68	1.31	1.07
La_2O_3	13.04	13.19	13.57	14.19	11.59	2.87	15.29
Ce_2O_3	28.14	35.36	32.31	32.57	32.27	19.23	31.11
Pr_2O_3	2.37	2.97	3.04	3.19	3.77	4.61	3.95
Nd_2O_3	12.19	10.97	10.87	11.41	12.82	29.26	13.36
Sm_2O_3	2.78	0.85	2.29	1.55	2.81	7.32	2.55
Gd_2O_3	1.11	0.31	0.00	1.12	1.73	2.21	0.78
ThO_2	3.14	0.92	0.30	3.12	1.70	0.07	0.00
Сумма	99.00	99.23	99.05	98.68	97.99	96.75	99.14

Рис. 3. Взаимоотношения бастнезита (*Bst*) с породообразующими и REE-минералами: *a* — включения зерен бастнезита в кварце (*Qz*); *б* — бастнезит заполняет полости в мусковите (*Ms*); *в, з* — многочисленные включения бастнезита в алланите (*Aln*) в ассоциации с биотитом (*Bt*) и цирконом (*Zrn*). УОЭ.

Fig. 3. Relations of bastnaesite (*Bst*) with rock-forming minerals and REE-minerals: *a* — bastnaesite grains in quartz (*Qz*); *б* — bastnaesite fills cavities in muscovite (*Ms*); *в, з* — numerous bastnaesite inclusions in allanite (*Aln*) in association with biotite (*Bt*) and zircon (*Zrn*). ESE

церия (29.69—31.47 мас. % Ce_2O_3) над другими элементами REE-группы (табл. 2). Из других REE-элементов в заметных количествах присутствует лантан (14.92—21.75 мас. % La_2O_3), неодим (11.07—13.18 мас. % Nd_2O_3) и празеодим (до 3.82 мас. % Pr_2O_3). Содержание кальция колеблется в широких пределах — от 0.88 до 4.91 мас. % CaO. Отмечены в единичном случае незначительные примеси Gd_2O_3 , Sm_2O_3 , Y_2O_3 .

Алланит $[\text{CaREE}(\text{Al}_2\text{Fe}^{2+})(\text{Si}_3\text{O}_{11})\text{O}(\text{OH})]$ — редкоземельный силикат группы эпидота, заполняет полости и трещины в альбите, биотите, мусковите и хлорите. Минерал представлен относительно крупными призматическими кристаллами с хорошо выраженной спайностью в матриксе, размером до 100 мкм, в сростании с монацитом (рис. 2, *a, б*) и включениями бастнезита (рис. 3, *в, з*). Помимо породообразующих и REE-минералов, алланит находится в тесной ассоциации с торитом (рис. 4, *a—д*). Аллани-

ты, содержащие включения торита, обогащены Th. По-видимому, алланиты в пуйвинских сланцах представлены двумя генерациями, встречено зональное зерно алланита, центральная часть которого характеризуется повышенными содержаниями FeO и REE-элементов, а краевая — ThO_2

(рис. 4, *д*). Между зонами двух генераций алланита по трещине развиваются включения торита, обогащенные Y и U. Кроме того, алланит встречается в виде включений по трещинкам в зернах циркона (рис. 4, *е*).

В алланите среди REE-элементов преобладает церий (5.13—12.48 мас. % Ce_2O_3), в два раза превышающий содержание лантана (2.23—5.53 мас. % La_2O_3) (табл. 3). Кроме того, в заметных количествах присутствует неодим (1.98—3.84 мас. % Nd_2O_3). В пуйвинских алланитах отмечается некоторый избыток алюминия и кальция относительно стехиометрического состава. Избыток кальция указывает на изоморфное замещение части REE^{3+} на Ca^{2+} , избыток алюминия обусловлен, соответственно, частичным замещением Fe^{2+} в структуре алланита на Al^{3+} . Кроме того, алланиты обогащены торием (до 3.60 мас. % ThO_2), титаном (до 1.40 мас. % TiO_2), в единичных случаях встречены примеси ZrO_2 (до 1.64 мас. %) и MnO (до 0.71 мас. %). REE-элементы в алланитах и бастнезитах характеризуются близкими соотношениями.

Торит $[\text{ThSiO}_4]$ встречается в виде включений преимущественно в центральных частях алланита и составляет с ним сростки (рис. 4, *a—д*). Зерна торита характеризуются изометричной формой выделений размером не более 30 мкм. Торит ассоциирует с алланитом, мусковитом и биотитом.

Химический состав пуйвинских торитов характеризуется содержанием ThO_2 от 55.35 до 77.95 мас. % (табл. 4). В его составе постоянно наблюдается примесь иттрия (Y_2O_3 до 8.73 мас. %). Встречены включения торита, развивающиеся по трещине между зонами двух генераций аллани-

Таблица 2
Химический состав бастнезита по данным микрозондового анализа, мас. %

Chemical composition of bastnaesite according to microprobe analysis, % wt

Компонент	1	2	3	4	5
CaO	1.42	1.53	4.91	0.88	1.50
Y_2O_3	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
La_2O_3	15.48	19.64	14.92	20.84	21.75
Ce_2O_3	29.91	29.91	29.69	30.01	31.47
Pr_2O_3	2.56	2.28	3.82	0.00	2.85
Nd_2O_3	11.21	11.07	14.14	12.58	13.18
Sm_2O_3	1.46	0.00	1.94	0.00	0.00
Gd_2O_3	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00

Примечание: F и CO_2 не определялись • Note: F and CO_2 not determined

Рис. 4. Взаимоотношения алланита с торитом (а–д) и цирконом (е): а–с — включения зерен торита (Thr) в алланите (Aln); д — зональное зерно алланита с включениями торита; е — включение алланита в цирконе (Zrn). УОЭ

Fig. 4. Relations of allanite with thorite (а–д) and zircon (е): а–с — inclusions of thorite grains (Thr) in allanite (Aln); д — zonal allanite grain with thorite inclusions; е — allanite in zircon (Zrn). ESE

Таблица 3

Нормированный химический состав алланита по данным микрозондового анализа, мас. %

Normalized chemical composition of allanite according to microprobe analysis, % wt

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Al ₂ O ₃	17.67	19.13	18.36	17.37	17.99	21.76	20.39	16.73	21.24	19.43	20.18	22.25	23.65
SiO ₂	36.15	35.13	34.43	34.73	35.30	38.09	37.36	34.88	38.20	36.51	36.69	38.41	39.88
CaO	10.46	10.89	11.54	10.13	11.35	13.60	13.19	11.41	12.82	12.12	12.68	16.82	10.22
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.70	0.00
TiO ₂	0.88	1.22	1.40	1.33	0.95	0.00	0.93	0.00	0.00	1.23	1.15	0.00	0.00
FeO	15.66	13.92	14.47	13.97	13.51	10.27	10.69	15.42	11.09	10.49	11.03	12.48	10.65
ZrO ₂	0.00	0.00	0.00	1.62	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	1.01	0.00	0.00
La ₂ O ₃	5.25	4.49	4.80	5.53	4.96	3.44	4.08	5.25	3.50	4.61	4.22	2.23	4.31
Ce ₂ O ₃	10.19	8.48	8.52	10.02	8.89	8.42	8.55	12.48	9.00	8.53	8.27	5.13	8.45
Nd ₂ O ₃	3.74	3.14	2.96	2.58	2.95	2.97	2.85	3.84	2.24	3.38	2.92	1.98	2.84
ThO ₂	0.00	3.60	3.53	2.73	2.47	1.45	1.97	0.00	1.91	1.86	1.85	0.00	0.00

Примечание: Анализы нормированы до 100 %. • Note: Analyses are normalized to 100%

та, которые значительно обогащены Y₂O₃ и UO₃. Кроме того, в составе торита отмечаются примеси железа, циркония, ванадия и фосфора.

Результаты и обсуждение

В кристаллических сланцах пуйвинской свиты исследуемого района

спектр аксессуарных REE-содержащих минералов довольно узок. Это монацит, алланит, циркон, бастнезит, торит и апатит. Эти REE-минералы находятся в тесных взаимоотношениях как друг с другом, так и с мусковитом, альбитом, кварцем, хлоритом, биотитом, рутилом и ильменитом.

Алланит, монацит и бастнезит встречаются в тесной ассоциации, образуя сростки, заполняют полости и трещины в породообразующих минералах. Как упоминалось выше, мелкие кристаллы бастнезита образуют игольчатые и розетковидные включения в алланите, где он явно является

**Нормированный химический состав торита
по данным микрозондового анализа, мас. %**

Normalized chemical composition of thorite according to microprobe analysis, % wt

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	12.59	12.99	15.15	13.95	13.96	25.47	24.82	24.59
P ₂ O ₅	4.01	2.20	3.29	2.72	0.00	0.00	3.45	3.30
V ₂ O ₅	2.58	0.00	0.00	4.46	4.70	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	7.07	1.56	7.33	3.43	3.26	0.00	0.81	0.00
Y ₂ O ₃	1.90	5.30	3.82	3.46	1.67	8.73	8.48	8.38
ZrO ₂	0.00	0.00	0.00	4.04	6.03	3.66	0.00	3.65
ThO ₂	71.84	77.95	70.41	67.95	70.37	57.07	57.22	55.35
UO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.08	5.21	4.73

Примечание: Анализы нормированы до 100 %. • *Note:* Analyses are normalized to 100 %

новообразованным. Наблюдаются замещения зерен биотита монацитом и рутилом, при этом монацит имеет звездчатые выделения. Также монацит встречается в виде включений в ильмените. Обнаруженные зональные зерна алланита позволяют предполагать наличие двух генераций. Кроме того, алланит составляет включения в зернах циркона.

Согласно данным А. М. и Ю. И. Пыстиных [2], общий температурный интервал проявившегося раннего этапа метаморфизма верхнепротерозойских отложений района — 350—650 °С, что соответствует зеленосланцевой фации. Поздний этап метаморфизма (диафторез) связан с прогрессивными низкотемпературными изменениями минералов, которые выражались в замещении роговой обманки альбитом, граната хлоритом и эпидотом, биотита мусковитом и хлоритом и др. Присутствие торита помимо алланита, монацита, бастнезита и апатита в пуйвинских сланцах, по-видимому, обусловлено их обогащением в результате привноса REE-элементов, Th, U и Ti из интрузивов Кожимского гранитного массива.

Монацит и алланит в природе встречаются в одном парагенезисе достаточно редко [5]. Обычно при прогрессивном метаморфизме наблюдается рост или алланита, или монацита, что обусловлено влиянием содержания Ca и Al в породах на устойчивость алланита. Фазовые равновесия при переходе Mnz → Aln → Mnz рассмотрены в публикациях [6, 7]. Х. Томкинс и Д. Паттисон [6] в контактовом ореоле Нельсон установили, что переход Aln → Mnz близок по температуре разложению мусковит-хло-

ритового парагенезиса. Недавними исследованиями было установлено, что температура разложения алланита с образованием монацита может варьировать в пределах 400—450 °С в зависимости от содержания CaO и Al₂O₃ в породах [7].

На основе полученных данных нами выявлено, что формирование REE-минералов в условиях многоэтапного метаморфизма в пуйвинских сланцах представлено последовательностью: алланит-I → бастнезит + монацит + торит → алланит-II.

Установленный характер сростаний минералов с участием бастнезита, монацита и алланита позволяет предположить, что именно алланит являлся источником REE-элементов для образования более высокотемпературных бастнезита и монацита. Это подтверждается сходной тенденцией распределения REE-элементов в монаците, алланите и бастнезите и характеризуется резким преобладанием легких REE-элементов. Во время проявления магматизма (PR₁), регионального метаморфизма (RF-С) и тектонической активности изучаемого района, вероятно, осуществлялся привнос флюидами REE, Th, U и Ti с изменением геохимической специализации субстрата. В последующий этап метаморфизма в верхнепротерозойских образованиях района, в том числе в пуйвинских сланцах, образовалась комплексная редкоземельная (монацит, бастнезит, алланит), ториевая (торит), сульфидная (пирит, халькопирит) и титановая (рутил, ильменит) минерализация. На основе установленных минералогических и геохимических особенностей выявленная редкоземельная минерализа-

ция имеет гидротермальный и переотложенный характер.

Закключение

В кристаллических сланцах пуйвинской свиты установлена ассоциация REE-минералов, представленная монацитом, алланитом, цирконом, бастнезитом, торитом и апатитом. Эти REE-минералы находятся в тесной ассоциации как друг с другом, так и с породообразующими минералами.

Выявлена геохимическая специализация и пространственные взаимоотношения минералов REE. На основе полученных данных последовательность преобразования REE-минералов имеет следующий вид: алланит-I → бастнезит + монацит + торит → алланит-II.

Таким образом, минералого-геохимическая специфика REE отображает характер полиметаморфических изменений докембрийских образований северной части Ляпинского антиклинория. Отложения пуйвинской свиты являются перспективными для более детальных исследований REE.

Автор выражает благодарность Т. Г. Шумиловой и А. М. Пыстину за научные консультации.

Литература

1. Ковальчук Н. С., Макеев Б. А. Результаты полевых исследований пород няргинского метаморфического комплекса верховьев р. Кожым (Приполярный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 23-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 48—50.
2. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярно-Уральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 8. С. 25—38.
3. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 4(8). С. 14—19.
4. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе // Литосфера. 2014. № 3. С. 41—50.
5. Савко К. А., Кориш Е. Х., Пилу-гин С. М. Метаморфические реакции образования REE-минералов в углеродистых сланцах Тим-Ястребовской

структуры, Воронежский кристаллический массив // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2009. № 2. С. 93—109.

6. Tomkins H. S., Pattison D. R. M. Accessory phase petrogenesis in relation to major phase assemblages in pelites from the Nelson contact aureole, southern British Columbia // J. Metam. Geol., 2007. V. 25. P. 401—421.

7. Wing B. A., Ferry J. M., Harrison T. M. Prograde destruction and formation of monazite and allanite during contact and regional metamorphism of pelites: petrology and geochronology // Contrib. Miner. Petrol, 2003. V. 145. P. 228—250.

References

1. Kovalchuk N. S., Makeev B. A. *Rezultaty polevyh issledovaniy porod nyartinskogo metamorficheskogo kompleksa verhov'ev r. Kozhym (Pripolyarnyi Ural)* (Results of field study of nyrtinsky metamorphic complex of upper streams of the Kozhym river (Subpolar Urals)). *Struktura, veschestvo, istoriya litosfery*

Timano-Severouralskogo segmenta: Proceedings. Syktyvkar, Geoprint, 2014, pp. 48—50.

2. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Metamorfiz'm i granitoobrazovanie v proterozoiskoranne-paleozoiskoi istorii formirovaniya Pripolyarnoural'skogo segmenta zemnoi kory* (metamorphism and granite formation in Proterozoic-Early Paleozoic history of formation of Subpolar Ural segment of earth crust). *Litosfera*, 2008, No. 8, pp. 25—38.

3. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Novye dannye o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoi vydeleniya kozhimskoj srednerifeiskoi granit-riolitovoi formatsii* (New data about age of Subpolar Ural granitoids in connection with problem of definition of kozhimskaya Upper Riphean granite-rhyolite formation). *Izvestiya Komi SC UB RAS*, 2011, No. 4(8), pp. 14—19.

4. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Bazalnye otlozheniya verhnego dokembriya v Timano-Severouralskom regione* (Basal deposits of Upper Cambrian in Timan-

Northern Ural region). *Litosfera*, 2014, No. 3, pp. 41—50.

5. Savko K. A., Korish E. H., Pilyugin S. M. *Metamorficheskie reaktsii obrazovaniya REE-mineralov v uglerodistyh slantsah Tim-Yastrebovskoi struktury, Voronezhskii kristallicheskii massiv* (Metamorphic reactions of formation of REE minerals in carboniferous shales of Tim-yastrebovskaya structure, Voronezhsky crystalline massif). *Vestnik VGU, Seriya: Geologiya*, 2009, No. 2, pp. 93—109.

6. Tomkins H. S., Pattison D. R. M. Accessory phase petrogenesis in relation to major phase assemblages in pelites from the Nelson contact aureole, southern British Columbia. *J. Metam. Geol.*, 2007, V. 25, pp. 401—421.

7. Wing B. A., Ferry J. M., Harrison T. M. Prograde destruction and formation of monazite and allanite during contact and regional metamorphism of pelites: petrology and geochronology. *Contrib. Miner. Petrol*, 2003, V. 145, pp. 228—250.

Рецензент

к. г.-м. н. С. А. Репина